نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۹، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۸، ص ۴۶۷-۴۵۵

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 9, No. 2, Fall - Winter 2019, p. 455-467

کاربرد رویکرد تلفیقی FMEA-ANP در اولویت‌بندی ریسک تأخیرات انتقال محصول نیشکر به کارخانه

فاطمه افشارنیا[1*] – افشین مرزبان[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۱۸

چکیده

یکی از مهم‌ترین ریسک‌های موجود در عملیات انتقال محصول نیشکر تأخیرات به‌وجود آمده در این فرآیند می‌باشد. این تأخیرات می‌تواند اثرات مخربی بر افت کمی و کیفی محصول داشته باشد. مدیریت این تأخیرات با استفاده از تکنیک‌های مدیریت ریسک و حذف فاکتورهای ریسک‌پذیر می‌تواند گامی مؤثر در جهت افزایش بهره‌وری فرآیند انتقال محصول نیشکر به کارخانه از طریق حداقل‌سازی مدت زمان بین برداشت نیشکر و آغاز مرحله فرآوری باشد. در این پژوهش پس از بررسی عوامل تأخیر شامل خرابی کارخانه، خرابی تراکتورهای در صف، تصادف و واژگونی آن‌ها و تغییر شیفت با استفاده از روش FMEA-ANP مشخص گردید که خرابی کارخانه مهم‌ترین و تأثیرگذارترین عامل تأخیر در عملیات انتقال نیشکر به کارخانه می‌باشد. سپس به بررسی دقیق علت‌های خرابی کارخانه پرداخته شد. با استفاده از نظرات کارشناسان خبره مشخص گردید که به‌ترتیب خرابی آسیاب کارخانه و پس از آن نوارنقاله‌ها مهم‌ترین علل تأخیر می‌باشد. از بین نوارنقاله‌ها نیز بیشترین خرابی مربوط به نقاله ورودی به آسیاب اول بود. بنابراین با پیاده‌سازی سیستم نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در کارخانه و به‌خصوص در بخش آسیاب می‌توان انتظار داشت که تا حد قابل‌توجهی بتوان از توقفات احتمالی پیشگیری کرد. علاوه بر این، تلاش جهت تطابق ظرفیت برداشت نیشکر و ظرفیت تحویل کارخانه می‌تواند در کاهش زمان بین برداشت نیشکر و آغاز مرحله فرآوری مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: ریسک، حمل و نقل، نیشکر، خرابی آسیاب، FMEA، ANP

مقدمه

امروزه، نیشکر، به‌دلیل افزایش تقاضای جهانی برای شکر و همچنین کاربرد آن در تولید اتانول به یک کالای استراتژیک تبدیل شده است. وزارت جهاد کشاورزی در سال‌های اخیر، در راستای اهداف کلان توسعه‌ای کشور و با محوریت خودکفایی در تولید محصولات اساسی توجه خاصی به افزایش تولید و کاهش ضایعات این محصول مبذول داشته است. کشت و صنعت‌های نیشکر استان خوزستان به‌عنوان یکی از صنایع عمده تولیدی کشور نقش مهمی را در راستای تولید شکر و کاهش واردات آن ایفا می‌کند. مزارع کشت و صنعت نیشکر مساحتی بالغ بر ۱۰۰ هزار هکتار از استان خوزستان را شامل می‌شود (Minaeemoghadam *et al.*, 2009) و امروزه، از مجموع کل اراضی کشور سطحی معادل ۷۲ هزار هکتار زیر کشت نیشکر بوده است که طی سال‌های ۱۹۸۰ میلادی تاکنون روند رو به رشدی را دارا بوده که عمدتاً افزایش سریع سطح در سال‌های اخیر مربوط به کشت اراضی نیشکر توسط شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی می‌باشد و کل اراضی نیشکر در بعد اقتصادی و صنعتی کشور در استان خوزستان واقع گردیده است. رشد عملکرد نیشکر در هر هکتار نیز در ایران از موفقیت مناسبی برخوردار بوده است و در نتیجه افزایش سطح نیشکر و عملکرد نیشکر در واحد سطح تولید نیشکر از ۱/۳۰۷ میلیون تن در سال ۱۹۸۰ به حدود ۵/۸ میلیون تن در سال جاری رسیده است. در واحدهای تولیدی نیشکر طول دوره برداشت نیشکر در شرایط خوزستان بسته به وضعیت جوی بین ۴ تا ۶ ماه می‌باشد. اغلب به علت مصادف شدن فصل برداشت (پاییز و زمستان) با بارندگی و شرایط نامناسب رطوبت مزرعه، عملیات برداشت به موقع انجام نمی‌گیرد و به تعویق می‌افتد، در نتیجه میزان درجه خلوص و درصد قند محصول کاهش می‌یابد؛ در نهایت تأخیر در برداشت نیشکر و کشیده شدن برداشت تا اردیبهشت ماه می‌تواند به میزان ۳۰-۲۰ درصد استحصال شکر را کاهش دهد (Monjezi *et al.*, 2017). علاوه بر این تأخیر به‌وجود آمده، مسئله کلیدی وجود مشکلات زیادی است که به هنگام حمل و نقل و تحویل نیشکر برداشت شده به کارخانه تولید شکر وجود دارد، به‌طوری‌که صف‌هایی طولانی از سبدهای حمل محصول نیشکر در ورودی کارخانه شکر به‌وجود می‌آید (Lamsal, 2014). توقفات کارخانه، خرابی تراکتورهای در صف، تصادف در اثر ازدحام تراکتورها و تغییر شیفت از جمله دلایل عمده

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران
۲- دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: phd.afsharnia@asnrukh.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.v9i2.69447

تأخیرات به‌وجود آمده در حمل و نقل محصول نیشکر می‌باشد. مدیریت و تحلیل ریسک‌پذیری، نیازمند توجه به معیارهای بسیار و لحاظ روابط تعاملی میان آنهاست. به تازگی ابزارهای متنوعی چون مدیریت کیفیت جامع[1]، مهندسی ارزش[2]، تولید ناب[3]، شش سیگما[4] و تحلیل حالات شکست و اثرات آن[5] به‌منظور کاهش اتلاف، افزایش بهره‌وری و بهبود کیفیت در فرآیندهای مختلف تولیدی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. FMEA ابزاری است که امروزه به‌طور گسترده، در صنایع خودروسازی، هوافضا، الکترونیک، نفت و پتروشیمی و بخش‌های دیگر صنایع تولیدی، به‌منظور شناسایی، اولویت‌دهی و رفع خرابی‌ها، شکست‌ها، ضایعات و مشکلات بالقوه در فرآیندهای تولیدی قبل از اجرای فرآیند، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Namdari *et al*., 2011). همچنین، تکنیک فرآیند تحلیل شبکه‌ای[6] از جمله شیوه‌های نوین در مبحث تصمیم‌گیری چندمعیاره[7] و تعمیم‌یافته روش AHP به‌شمار می‌رود. در مواردی همچون مطالعه حاضر که سطوح پایینی روی سطوح بالایی اثرگذار هستند و یا عناصری که در یک سطح قرار دارند مستقل از هم نمی‌باشند، دیگر نمی‌توان از روش AHP استفاده کرد (Jafari Eskandari and Alibeigi, 2016). پیشینه کاربری وسیع و نبود توجه به روابط متقابل عوامل ایجادکننده ریسک در روش مرسوم FMEA و در کنار آن کارآمدی تحلیل شبکه‌ای در شناسایی و لحاظ تعاملات معیارهای تصمیم‌گیری باعث می‌شود رویکرد تلفیقی این دو روش، در تحلیل صحیح‌تر و دقیق‌تر ریسک بهتر عمل کند. مدل FMEA-ANP در واقع شکل تجدیدنظر شده‌ای از مدل رایج ANP با یک جهت‌گیری تکاملی به FMEA است. در این نگرش، کاستی‌های روش FMEA در عدم لحاظ روابط متقابل عوامل شکست و وزن‌های متفاوت برای پارامترها با استفاده از مفروضات اساسی ANP پوشش داده می‌شوند. گرچه مطالعاتی در زمینه FMEA جهت ارزیابی ریسک در فرآیند تولید و فرآوری محصولات کشاورزی صورت گرفته، اما تمرکز این مطالعات بر روی رویکردهای تلفیقی مانند FMEA-ANP نبوده است. تنها نمونه موجود در ادبیات که به تحلیل ریسک زنجیره تأمین یک محصول کشاورزی با استفاده از روش تلفیقی FMEA-ANP می‌پردازد، مقاله Slamet *et al*. (2017) می‌باشد که ریسک‌های مختلف در زنجیره تأمین پاپایا را جهت تعیین و اولویت‌بندی ریسک و کاهش اثر آنها مورد بررسی قرار داده است. از این‌رو، این مطالعه برای اولین بار به شناسایی فاکتورهای ریسک تأخیرات حمل و نقل محصول نیشکر با استفاده از رویکرد تلفیقی FMEA-ANP می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در شرکت کشت و صنعت نیشکر و صنایع جانبی استان خوزستان در سال زراعی ۹۶-۹۵ صورت گرفت. این شرکت دارای هفت واحد جداگانه شامل یک واحد در شعیبیه شوشتر (امام خمینی "ره")، یک واحد در شمال اهواز (دهخدا)، سه واحد در غرب رودخانه کارون در جنوب اهواز (دعبل خزاعی، سلمان فارسی، فارابی) و دو واحد در شرق رودخانه کارون در جنوب اهواز (امیرکبیر و میرزا کوچک خان) است و ۸۴ هزار هکتار از اراضی خوزستان را به زیر کشت نیشکر برده است (Bigdeli and Yousef Aghli, 2005).

ب) تئوری تحقیق

FMEA روشی سیستماتیک و گروهی برای شناسایی و پیشگیری از وقوع مشکل در محصول و فرآیند آن می‌باشد. این روش بر شناسایی بروز عیب و نقص، افزایش ایمنی و افزایش رضایت مشتری تمرکز دارد. یکی از تفاوت‌های اساسی FMEA با سایر تکنیک‌های کیفی این است که FMEA یک اقدام کنشی است، نه واکنشی. FMEA اگر درست و به‌موقع اجرا شود، فرآیندی زنده و همیشگی است. ابزاری پویا است که در چرخه بهبود مستمر به‌کار می‌رود. هدف از اجرای FMEA جستجوی تمام مواردی است که باعث شکست یک محصول یا فرآیند می‌شوند (Jafarnezhad, 2015; Motaghi, 2016). در روش FMEA-ANP رابطه پارامترهای دخیل در FMEA، یعنی شدت، وقوع و شناسایی در قالب شبکه در نظر گرفته شد. گام‌های روش FMEA-ANP در واقع ترکیبی از مراحل رایج دو روش FMEA و ANP است. در ترکیب جدید گام‌های روش ANP پس از شناسایی عوامل ایجادکننده شکست و به هدف تعیین وزن پارامترها در نمره اولویت ریسک، افزوده شده و مراحل روش پیشنهادی را شکل می‌دهند. در مجموع، به هدف تجمیع مزایا و توانمندی‌های روش‌های فوق و اجتناب از کاستی‌ها و کمبودهای آن‌ها، گام‌های روش FMEA-ANP به‌صورت زیر تشریح می‌شوند (Dori *et al*., 2011):

گردآوری اطلاعات

ابتدا عملیات حمل و نقل محصول نیشکر (شکل ۱) و تجهیزات مورد استفاده در آن از طریق مصاحبه با کارشناسان بخش ایمنی و فنی و مهندسین شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی استان خوزستان و مطالعه کتب و اسناد مربوطه، بررسی شد. پس از آن حالات نقص و خطای هر یک از تجهیزات که منجر به بروز مشکلات فنی و اشکال

1- Total Quality Management
2- Value Engineering
3- Lean Production
4- Six Sigma
5- Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)
6- Analytic Network Process (ANP)
7- Multiple-Criteria Decision-Making (MCDM)

در سایر تجهیزات و همچنین بروز صدمات و تلفات انسانی می‌گردد، شناسایی شدند. در نهایت ریسک‌های به‌دست آمده به جهت ارزش‌گذاری در برگه کار روش FMEA نوشته شدند. در این پژوهش، ارزش‌گذاری ریسک‌ها بر اساس روش طوفان فکری[1] با جمع‌آوری فهرستی از ایده‌های کارشناسان خبره برای رسیدن به یک جمع‌بندی صورت پذیرفت. ارزش‌گذاری ریسک‌ها بر اساس جداول رتبه‌بندی شدت اثر، احتمال وقوع خطر و درجه شناسایی خطر موجود در روش FMEA است. با استفاده از نظرات کارشناسان خبره کارخانه، الگوهای تأخیر بالقوه‌ای که فرآیند تولید شکر را به تعویق می‌انداختند، شناسایی شدند. سپس با فهرست کردن این الگوها، افراد با مرور مجدد، آثار بالقوه آنها را در صورت بروز شناسایی کردند و تشخیص علل هر الگو با تفکر تیمی بررسی و تعیین گردید.

ساخت مدل

در روش FMEA-ANP، پارامترهای FMEA در قالب یک شبکه با هم مرتبط می‌شوند؛ همان‌گونه که اشاره شد، در میان علل وقوع شکست‌ها رابطه متقابلی وجود دارد. هدف این مدل، تعیین وزن و اولویت پارامترهای شدت، وقوع و شناسایی به لحاظ سطح مخاطره‌آمیزی (رخدادپذیری) آن‌هاست. از این رو مدل در سه سطح ترسیم می‌شود (Bayazit, 2006; Saaty, 1999) (شکل ۲)؛

الف- سطح هدف: تعیین اولویت ریسک‌زایی پارامترهای شدت، وقوع و شناسایی، هدف مدل را تبیین می‌کند؛

ب- سطح معیارها: خوشه‌های شکست، معیارهای مدل را تشکیل می‌دهند. هر حالت شکست بالقوه بیانگر یک خوشه شکست است. عناصر این خوشه علل امکان‌پذیر شناسایی شده می‌باشند. با این وصف در مدل FMEA-ANP به تعداد حالات بالقوه شکست، خوشه شکست وجود خواهد داشت و عناصر این خوشه‌ها علل بالقوه رخداد آن حالات شکست هستند؛

ج- سطح گزینه‌ها: سه پارامتر اصلی شدت، وقوع و شناسایی در خوشه‌ای با عنوان بخش پارامترها جای می‌گیرند. در واقع این سه عنصر، گزینه‌های مدل تحلیل شبکه‌ای را شکل می‌دهند.

تنظیم وابستگی‌های متقابل و انجام مقایسات زوجی میان خوشه‌ها یا عناصر

آنچه تلفیق روش تحلیل شبکه‌ای و FMEA را کاملاً توجیه می‌کند، وجود تعاملات متقابل میان عوامل بالقوه شکست است. گذشته از وجود تأثیرگذاری‌های میان الگوهای بالقوه شکست، عامل‌های بالقوه شکست در الگوهای شکست خود و یا دیگر الگوهای شکست ارتباطات و وابستگی‌های متقابلی را باعث می‌شوند.

هر سه نوع وابستگی تعریف شده در روش ANP، در مورد الگوهای شکست و عامل‌های بالقوه آن‌ها مصداق دارند. در صورتی که یک عامل شکست روی عامل دیگر از همان الگوی شکست تأثیرگذار باشد، این وابستگی درونی است. اگر عامل بالقوه شکست از یک الگوی شکست بر عامل بالقوه شکست از الگوی دیگری اثر بگذارد، ارتباط از نوع بیرونی بوده و بین خوشه‌های شکست این دو الگوی شکست، ارتباط بیرونی برقرار می‌شود. همین وضعیت می‌تواند در حالی رخ دهد که یک خوشه شکست، مجزای از عناصر خود به‌عنوان مثال، الگوی بروز ضایعات بر الگوی افت کیفیت محصول، روی خوشه شکست دیگر تأثیراتی را داشته باشد. در مواردی پیش می‌آید که ارتباط بین عوامل شکست از نوع متقابل است. برای تنظیم وابستگی‌های متقابل، یک ماتریس از الگوهای شکست و عناصر آن‌ها (عامل‌های شکست) تشکیل می‌شود. در صورت وجود رابطه بین عناصر (در محل متناظر در ماتریس) مقدار یک و در غیر این‌صورت مقدار صفر درج می‌شود. پس از شناسایی روابط و وابستگی‌ها در قسمت قبل، مقایسات زوجی میان خوشه‌ها، عناصر و گزینه‌ها صورت می‌پذیرند.

تشکیل ابر ماتریس و محاسبه وزن پارامترها

ابر ماتریس در گام نخست تشکیل، ابرماتریس غیرموزون[2] سپس ابرماتریس موزون[3] و در خاتمه ابرماتریس نهایی نامیده می‌شود. وزن گزینه‌ها از ابر ماتریس نهایی حاصل می‌شود.

پس از انجام مقایسات زوجی میان خوشه‌ها، عناصر آن‌ها و نرمالیزه کردن مقایسه‌ها با قرار دادن عناصر خوشه‌های مدل در سطر و ستون یک ماتریس واحد و جای‌دهی مقادیر نرمالیزه شده به‌عنوان مؤلفه‌های این ماتریس، ابر ماتریس غیرموزون به‌دست می‌آید.

در گام بعد برای به‌دست آوردن ابرماتریس موزون، بلوک‌های ابرماتریس غیرموزون (عناصر خوشه‌های شکست و پارامترها) در اولویت خوشه مربوط به خود (حاصل از مقایسات زوجی خوشه‌های مدل) ضرب می‌شوند. در این ماتریس جمع ستون‌ها برابر یک است. جهت محاسبه ماتریس نهایی، ابرماتریس حاصل تا جایی به توان بالا رسانده می‌شود که دیگر با افزایش توان تغییر چندان محسوسی در مؤلفه‌های ماتریس دیده نشود. جهت انجام کلیه محاسبات مربوط به روش ANP از نرم افزار Super Decision نسخه ۲.۶ استفاده شد.

در حالت معمول، توان هر یک از پارامترهای روش FMEA برابر یک است؛ یعنی مجموع توان پارامترها سه خواهد بود. در روش FMEA-ANP وزن‌ها به‌گونه‌ای به پارامترها تخصیص پیدا می‌کنند که صرف‌نظر از مقدار هر یک، دارای مجموع سه باشند. به این منظور

1- Brainstorming

2- Unweighted super matrix

3- Weighted super matrix

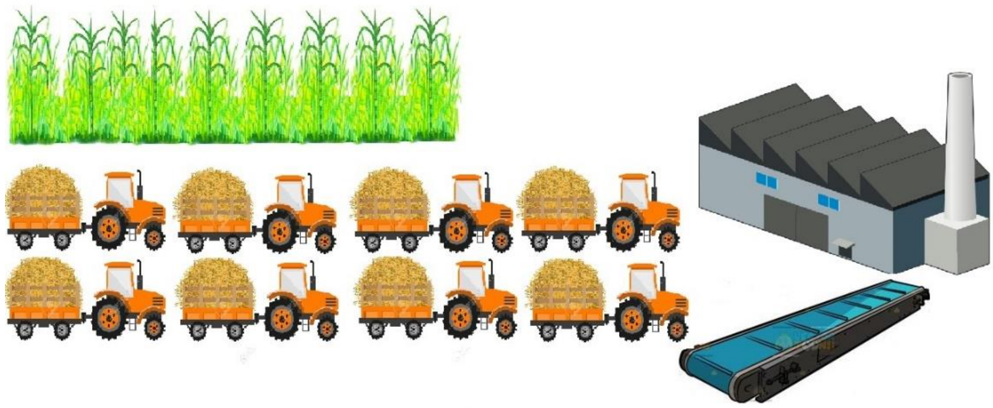
از رابطه (۱) برای نرمالیزه کردن عناصر بلوک پارامترها در ابرماتریس نهایی و تحصیل وزن‌ها استفاده می‌شود:

$$W_i = \frac{3 \times a_i}{\sum a_i} \qquad (۱)$$

W_i: وزن نرمالیزه شده پارامتر i ‏(α،β،γ)

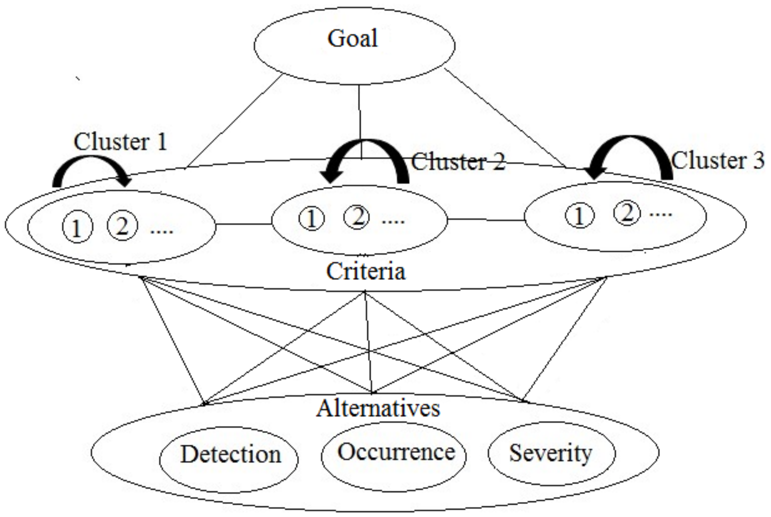
a_i: وزن نرمالیزه نشده پارامتر

i: شدت، وقوع، شناسایی



شکل ۱– فرآیند حمل محصول نیشکر از مزرعه تا کارخانه

Fig. 1. The transportation process of sugarcane crop from farm to factory



شکل ۲– ساختار کلی مدل FMEA-ANP

Fig. 2. The overall structure of FMEA-ANP model

محاسبه RPN برای هر عامل شناسایی شده

آنچه در روش معمول FMEA برای محاسبه نمره اولویت ریسک (RPN) انجام می‌شود، ضرب سه عامل شدت (S)، شناسایی (D) و وقوع (O) در یکدیگر با لحاظ درجه اهمیت و وزن یکسان برای هر یک از آنهاست. رابطه (۲) در زیر ارائه شده است.

$$RPN = S \times D \times O \qquad (۲)$$

در روش پیشنهادی FMEA-ANP فرض وجود وزن‌های متفاوت برای هر یک از پارامترها در قالب رابطه (۳) مد نظر قرار می‌گیرد. وزن پارامترهای شدت، وقوع و شناسایی که در مرحله قبل محاسبه شدند، در این قسمت برای محاسبه نمره اولویت ریسک به‌صورت توان هر یک از پارامترهای مربوط، وارد رابطه (۳) می‌شوند.

$$RPN = S^{\alpha} \times D^{\gamma} \times O^{\beta} \qquad (۳)$$

انجام اقدامات اصلاحی

اقدام‌های اصلاحی برای حذف یا کاهش الگوهای شکست بالقوه واجد خطرپذیری بالا صورت می‌پذیرند. برای دست یافتن به این هدف از روش‌های اصولی حل مشکلات مثل تحلیل ریسک خرابی‌ها جهت بازرسی بر مبنای ریسک[1] استفاده می‌شود. بهترین شیوه

1- Risk Based Inspection (RBI)

بهینه‌سازی، کاهش احتمال وقوع شکست می‌باشد؛ زیرا با کاهش این احتمال نیاز به روش‌های بازرسی نیز کم خواهد شد.

جدول ۱– فهرست الگوهای بالقوه تأخیر و علل بالقوه هر الگوی تأخیر در فرآیند انتقال محصول نیشکر

Table 1- List of potential delay patterns and potential causes of each delay pattern for the transportation process of sugarcane crop

ردیف Row	الگوی بالقوه تأخیر Potential delay pattern	علل بالقوه تأخیر Potential delay causes	نماد Symbol
1	خرابی کارخانه Factory failure	خرابی نقاله‌ها Conveyors failure	FCO
		خرابی آسیاب Mill failure	FMILL
		خرابی کوره بخار Steam furnace failure	FSF
		خرابی سالن تولید Production hall failure	FPH
		عدم نگهداری مناسب Inappropriate maintenance	FF
2	خرابی تراکتورهای در صف Tractor failure in queuing system	نگهداری نامناسب Inappropriate maintenance	UM
		عدم مهارت راننده Lack of driver skills	USO
		فرسوده بودن تراکتور Worn tractor	WT
3	تصادف و واژگونی تراکتورها Accident and overturn of tractors	عدم دقت راننده Carelessness of the driver	UCO
		عجله راننده Driver rush	HO
		زیاد بودن تراکتورهای در صف Lots of tractors in the queue	MT
4	تغییر شیفت Shift change	عدم حضور به موقع پرسنل Lack of on time presence personnel	UOT
		عدم وجود برنامه ریزی دقیق Lack of precise planning	UTT
		هماهنگی کم پرسنل با سرعت کار روزانه Low staff coordination with the speed of daily work	LS

نتایج و بحث

فرآیند حمل و نقل محصول نیشکر از مزرعه تا کارخانه از جمله عملیات مهم جهت تولید شکر است. این عملیات می‌تواند از ابعاد گوناگونی دچار تأخیرات جدی شود. تکیه بر شناخت حاصل از مرحله قبل، به کمک کارشناسان خبره مهم‌ترین عوامل و شرایطی را که در اجزای فرآیندی نظیر توقفات کارخانه، خرابی تراکتورهای در صف، تصادف و واژگونی آن‌ها در اثر ازدحام و تغییر شیفت می‌توانند باعث بروز مشکل و نقصان در انتقال نیشکر از مزرعه به کارخانه شوند، شناسایی شد و در قالب الگوها یا حالت‌های تأخیر در جدول ۱ فهرست شده است. علاوه بر این، با بهره‌گیری از نظرات برگرفته از تجربیات و تخصص اعضای گروه و در مواردی رجوع به سوابق و گزارش‌های عملکردی، فهرستی از علت‌های امکان‌پذیر برای هر حالت تأخیر در جدول ۱ ترتیب داده شده است.

بسته به زمینه استفاده از روش FMEA (محصول، خدمت، فرآیند) مقیاس‌های گوناگونی به‌صورت استاندارد هر یک تعریف شده‌اند. در این مرحله با استفاده از مقیاس پارامترهای شدت، وقوع و شناسایی برگرفته از مؤسسه ASQ[1] آمریکا برای تحلیل شکست فرآیندی، اعضای گروه اعداد معینی را به پارامترهای هر علت اختصاص دادند. درجه‌های تعیین شده در جدول ۲ نشان داده شده است.

مدل به‌دست آمده در پژوهش حاضر در سه سطح نشان داده شده در شکل ۳ تشریح می‌شود. هدف مسأله تعیین وزن و اولویت ریسک‌پذیری پارامترهای شدت، وقوع و شناسایی می‌باشد. از آنجا که در سطح معیارها هر حالت بالقوه تأخیر، یک خوشه تأخیر را تشکیل می‌دهد؛ چهار خوشه تأخیر به نام‌های خرابی کارخانه (FC)، خرابی

1- American Society for Quality

تراکتورهای در صف (FT)، تصادف و واژگونی تراکتورها (RT) و تغییر شیفت (SC) وجود خواهد داشت. این خوشه‌ها به همراه عناصر هر خوشه در جدول ۱ تشریح شد. سطح راهبردی نقشی اساسی در تصمیم‌گیری ایفا می‌کند و در عین حال واسطه بین سطح اول و سوم مدل نیز می‌باشد. در سطح سوّم گزینه‌های مدل شامل شدت، وقوع و شناسایی بیان می‌شوند. در گام بعد به بررسی انواع وابستگی‌ها و مقایسات در نمونه بررسی شده پرداخته می‌شود. شناسایی وابستگی‌ها و انجام مقایسات زوجی به‌وسیله کارشناسان خبره صورت گرفته است.

جدول ۲- درجه‌های وقوع، شدت و شناسایی برای الگوهای تأخیر

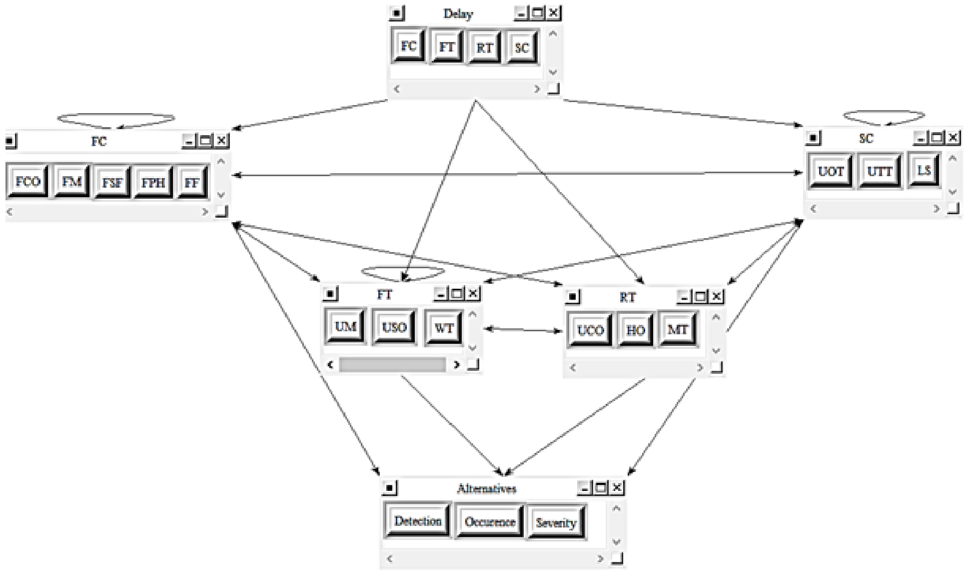
Table 2- Score of occurrence, severity and detection of delay patterns

الگوی بالقوه تأخیر Potential delay pattern	علل بالقوه تأخیر Potential delay causes	شناسایی Detection	وقوع Occurrence	شدت اثر Severity
خرابی کارخانه Factory failure	خرابی نقاله‌ها Conveyors failure	7	10	9
	خرابی آسیاب Mill failure	9	10	10
	خرابی کوره بخار Steam furnace failure	8	4	6
	خرابی سالن تولید Production hall failure	7	8	8
	عدم نگهداری مناسب Inappropriate maintenance	9	5	8
خرابی تراکتورهای در صف Tractor failure in queuing system	نگهداری نامناسب Inappropriate maintenance	10	4	9
	عدم مهارت راننده Lack of driver skills	9	1	9
	فرسوده بودن تراکتور Worn tractor	6	5	9
تصادف و واژگونی تراکتورها Accident and overturn of tractors	عدم دقت راننده Carelessness of the driver	10	3	8
	عجله راننده Driver rush	5	6	7
	زیاد بودن تراکتورهای در صف Lots of tractors in the queue	7	7	8
تغییر شیفت Shift change	عدم حضور به موقع پرسنل Lack of on time presence personnel	10	2	9
	عدم وجود برنامه ریزی دقیق Lack of precise planning	10	1	9
	هماهنگی کم پرسنل با سرعت کار روزانه Low staff coordination with the speed of daily work	9	1	8

همان‌طور که در ابرماتریس غیرموزون (جدول ۳) مشاهده می‌شود، سطر و ستون این ماتریس را خوشه‌ها و عناصر مربوط به آنها تشکیل می‌دهند. مؤلفه‌های این ماتریس وزن عنصر متناظر در سطر را نزد عنصر متناظر در ستون نشان می‌دهد. این ابرماتریس لازم است که موزون شود. در ابرماتریس غیرموزون جمع هر ستون برابر یک خواهد شد. برای این‌کار عناصر هر یک از بلوک‌ها در ابرماتریس غیرموزون در وزن آن بلوک ضرب می‌شوند (جدول ۴). طبق ماتریس نهایی در جدول ۵، مقادیر ۰/۰۷۷۵، ۰/۰۴۷۵ و ۰/۰۸۸۵ به‌ترتیب در سطرهای شناسایی، شدت و وقوع از خوشه گزینه‌ها، وزن‌های نرمالیزه‌نشده پارامترها اطلاق می‌شوند.

با استفاده از فرمول اصلاحی، وزن پارامترها به‌صورت جدول ۷ خواهد بود. برای محاسبه نمره اولویت ریسک هر یک از عامل‌های شناسایی‌شده، درجه پارامترهای شدت، وقوع و شناسایی با لحاظ وزن به‌دست‌آمده برای هر یک با استفاده از فرمول جدید RPN محاسبه شده است (جدول ۸). مقادیر RPN مربوط به FMEA-ANP از مقادیر FMEA کوچک‌تر هستند. این امر نشان می‌دهد که در صورت اعمال وزن‌های درست برای هر یک از پارامترها، درجه ریسک‌زایی آن‌ها از آنچه به نظر می‌رسد، کمتر خواهد بود. به این مفهوم که گاه در یک الگوی تأخیر، انجام اقدام اصلاحی روی یک پارامتر جهت رسیدن به سطح ریسک پایین‌تر از اعمال اقدامات اصلاحی اضافی

روی پارامترهای دیگر کـه ریسـک‌پـذیری کمتـری دارنـد جلـوگیری می‌کند.



شکل ۳- ساختار مدل گزینه‌های تصمیم عملیات انتقال نیشکر به کارخانه

Fig. 3. The structure of the decision-making options model for sugarcane transportation operations to factory

علاوه بر این، مشاهده می‌شود که در روش FMEA، عدم نگهداری مناسب برای کارخانه و تراکتورهایی که وظیفه حمل سبدهای حامل محصول نیشکر را داشتند در یک اولویت یکسان قرار گرفت، در صورتی که بنا بر نظرات کارشناسان، توقفات کارخانه شکر دارای اهمیت و وقوع بیشتری نسبت به تراکتورها می‌باشد که این مورد در روش FMEA-ANP به خوبی مشهود بوده و اعمال نگهداری و تعمیرات مناسب برای کارخانه شکر را دارای اهمیت و اولویت بالاتری نسبت به تراکتورها نشان داده است. همچنین این مطالعه نشان داد که ایجاد نقص خود باعث بروز نقایص جدی می‌تواند شود. با توجه به این مطلب در تهیه جداول FMEA سعی شد که این موضوع مورد توجه قرار گیرد و در ستون علل بالقوه تأخیر، علل تبعی نیز ذکر گردد (جدول ۱). با توجه به ماتریس موزون خوشه‌ها، خرابی کارخانه و پس از آن خرابی تراکتورهای در صف از مهم‌ترین علل بالقوه ریسک شناسایی شدند (جدول ۶). به‌طوری‌که خرابی آسیاب به‌عنوان مهم‌ترین علّت بالقوه تأخیر تشخیص داده شد و طبق آمار ۷۳/۱۵ درصد از توقفات کارخانه را به خود اختصاص داد و در اولویت‌بندی علل ریسک تأخیرات در رتبه اول قرار گرفت (جدول ۸). دوّمین فاکتور ریسک تأخیرات، خرابی نقاله‌های کارخانه می‌باشد؛ این نقاله‌ها شامل: نقاله تغذیه، نقاله شستشو، نقاله اصلی، نقاله ورودی به آسیاب اوّل، نقاله میانی، نقاله باگاس برگشتی از فیلتر دوار و نقاله‌های باگاس می‌باشد که از این میان ۴۹ درصد خرابی‌های نقاله‌ها مربوط به نقاله ورودی به آسیاب اوّل بود. علاوه بر این، خراب شدن نقاله تغذیه در ورودی کارخانه که وظیفه انتقال نی‌های بریده‌شده به کارخانه را جهت شروع فرآیند تولید شکر بر عهده دارد؛ موجب باقی ماندن نی‌های بریده‌شده در ماشین‌های حمل نیشکر و کاهش درصد قند آنها می‌گردد، زیرا افزایش فاصله زمانی بین برداشت و آسیاب کردن نیشکر برداشت شده کاهش درصد قابل قبول دکستران موجود در عصاره را سبب می‌شود. پس از این اولویت‌ها، خرابی سالن تولید، زیاد بودن تراکتورهای در صف، عدم نگهداری مناسب کارخانه و نگهداری نامناسب تراکتورها به‌ترتیب از مهم‌ترین اولویت‌های ریسک تأخیرات تشخیص داده شدند.

نظر به اینکه خرابی کارخانه به‌عنوان اولین علّت تأخیر و خرابی آسیاب و نقاله‌ها به‌عنوان مهم‌ترین علت‌های بالقوه آن شناسایی شدند، بایستی اقدامات اصلاحی در جهت بهبود و کاهش خرابی این دو بخش صورت گیرد. علت‌های خرابی آسیاب شامل: بالا آمدن شوت، افتادن زنجیر از روی اسپراکت، بریدن زنجیرها، شکستن لینک زنجیر و تعویض آن، وجود آهن‌آلات در نقاله، فالت برقی، تنظیم ورودی و خروجی آسیاب، شل شدن پیچ و مهره‌های نقاله، خرابی لاین روغن، از تنظیم افتادن غلطک فیدرول، تریپ ابزار دقیقی توربین، بالا رفتن لول مخزن شربت، عدم تنظیم گاورنر، عدم عملکرد صحیح جک‌های آسیاب، مشکل در الکتروموتور پمپ، خارج شدن و بریده شدن اسلت، صاف نبودن لبه اسلت، بریده شدن بکسل وینچ، مشکل ابزار دقیقی توربین‌ها، حرکت کردن کوپلینگ و باز شدن کوپلینگ، افت فشار روغن یاتاقان شریدر، گرم کردن یاتاقان‌ها، تعویض رولیک، شکستن تیغه‌های چاقو، بریده شدن تیغه اسکریپر، تعویض تیغه به علت ورود فلزات و شکستن تیغه و ورود آهن به درون

مگنت می‌باشد. بنابراین سرویس کامل آسیاب‌ها شامل غلتک‌های چدنی عصاره‌گیری، چرخ دنده بزرگ (پینیون)، کوپلینگ آسیاب، تأمین و تعویض قطعات سنگین فولادی و فرسوده آسیاب‌ها نظیر: تیغه چاقو، اسلت نقاله آسیاب، اسکرپیر آسیاب و تراش پلیت‌ها، زنجیر نقاله نیشکر و فیدرهای آسیاب و جرثقیل‌های تخلیه نیشکر به فیدر تیبل می‌بایست به‌عنوان اقدامات اصلاحی مدنظر قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین ریسک‌های موجود در عملیات انتقال محصول نیشکر تأخیرات به‌وجود آمده در این فرآیند می‌باشد. این تأخیرات به علل مختلفی صورت می‌گیرد و افت‌های کمی و کیفی قابل توجهی را به صنعت نیشکر تحمیل می‌کند. انجام به موقع برداشت نیشکر در استان خوزستان به‌طور طبیعی به‌دلیل هم‌زمان بودن با فصل بارندگی و شرایط نامناسب رطوبت مزرعه، با محدودیت بسیاری همراه است. بنابراین، بایستی کوشید تا عوامل تأخیر قابل کنترل شامل: توقف کارخانه، خرابی تراکتورهای در صف، تصادف و واژگونی تراکتورها و تغییر شیفت را به حداقل رساند. با توجه به تحلیل ریسک صورت گرفته با استفاده از رویکرد تلفیقی FMEA-ANP، از میان این عوامل توقف و خرابی کارخانه به‌عنوان مهم‌ترین علت تأخیر و خرابی آسیاب و نوارنقاله‌ها به‌ترتیب به‌عنوان مهم‌ترین علت‌های بالقوه آن شناسایی شدند. با پیاده‌سازی سیستم نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در کارخانه و به‌خصوص در بخش آسیاب می‌توان از توقفات احتمالی جلوگیری به‌عمل آورد. علاوه بر این، با تطابق ظرفیت برداشت نیشکر و تحویل آن توسط کارخانه می‌توان گامی مؤثر در جهت کاهش زمان بین برداشت نیشکر و آغاز مرحله فرآوری و افزایش بهره‌وری این عملیات برداشت.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از بنیاد ملّی نخبگان به‌خاطر حمایت‌های مادی و معنوی انجام این مطالعه در قالب هسته پژوهشی تحلیل سامانه‌های کشاورزی و زیستی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان قدردانی می‌گردد.

جدول ۳- ماتریس ناموزون

Table 3- Unweight super matrix

برچسب خوشه و گره‌ها		پارامتر Parameter			عوامل تأخیر Delay factors				خرابی کارخانه Factory failure					خرابی تراکتورهای در صف Tractor failure in queuing system			تصادف و واژگونی تراکتورها Accident and overturn of tractors			تغییر شیفت Shift change		
		D	S	O	FC	FT	RT	SC	FCO	FF	FM	FPH	FSF	UM	USO	WT	HO	MT	UCO	LS	UOT	UTT
پارامتر Parameter	D	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.44	0.25	0.327	0	0.4	0.28	0.25	0.5	0.259	0.539	0.48	0.466	0.481
	S	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0.169	0.5	0.412	0.33	0.2	0.135	0.25	0.25	0.412	0.163	0.05	0.1	0.05
	O	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0.387	0.25	0.259	0.66	0.4	0.584	0.5	0.25	0.327	0.296	0.46	0.43	0.46
عوامل تأخیر Delay factors	FC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
خرابی کارخانه Factory failure	FCO	0	0	0	0.316	0	0	0	0	1	0.36	0.5	0.458	0.316	0.316	0.316	0.316	0.316	0.316	0.316	0.316	0.316
	FF	0	0	0	0.061	0	0	0	0.098	0	0.084	0	0.073	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061
	FM	0	0	0	0.158	0	0	0	0.26	0	0	0	0.215	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158
	FPH	0	0	0	0.264	0	0	0	0.36	0	0.34	0	0.252	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264
	FSF	0	0	0	0.199	0	0	0	0.27	0	0.213	0.5	0	0.199	0.199	0.199	0.199	0.199	0.199	0.199	0.199	0.199
خرابی تراکتورهای در صف Tractor failure in queuing system	UM	0	0	0	0	0.33	0	0	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0	0	0.66	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
	USO	0	0	0	0	0.379	0	0	0.379	0.379	0.379	0.379	0.379	0	0	0.33	0.379	0.379	0.379	0.379	0.379	0.379
	WT	0	0	0	0	0.289	0	0	0.289	0.289	0.289	0.289	0.289	1	1	0	0.289	0.289	0.289	0.289	0.289	0.289
تصادف و واژگونی تراکتورها Accident and overturn of tractors	HO	0	0	0	0	0	0.539	0	0.539	0.539	0.539	0.539	0.527	0.539	0	0.539	0	0	0	0.539	0.539	0.539
	MT	0	0	0	0	0	0.163	0	0.163	0.163	0.163	0.163	0.139	0.163	0	0.163	0	0	0	0.163	0.163	0.163
	UCO	0	0	0	0	0	0.296	0	0.296	0.296	0.296	0.296	0.332	0.296	0	0.296	0	0	0	0.296	0.296	0.296
تغییر شیفت Shift change	LS	0	0	0	0	0	0	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0	0.33	0.8
	UOT	0	0	0	0	0	0	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136	0.33	0	0.2
	UTT	0	0	0	0	0	0	0.238	0.238	0.238	0.238	0.238	0.238	0.238	0.238	0.238	0.238	0.238	0.238	0.66	0.66	0

جدول ٤- ماتریس موزون

Table 4- Weighted super matrix

برچسب خوشه و گره‌ها		پارامتر Parameter			عوامل تأخیر Delay factors				خرابی کارخانه Factory failure					خرابی تراکتورهای در صف Tractor failure in queuing system			تصادف و واژگونی تراکتورها Accident and overturn of tractors			تغییر شیفت Shift change		
		D	S	0	FC	FT	RT	SC	FCO	FF	FM	FPH	FSF	UM	USO	WT	HO	MT	UCO	LS	UOT	UTT
پارامتر Parameter	D	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0.088	0.05	0.065	0	0.08	0.07	0.05	0.125	0.064	0.134	0.0962	0.0932	0.096
	S	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0.033	0.1	0.082	0.066	0.04	0.033	0.05	0.0625	0.103	0.04	0.011	0.02	0.011
	O	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0.077	0.05	0.051	0.133	0.08	0.146	0.1	0.0625	0.081	0.074	0.0925	0.086	0.0925
عوامل تأخیر Delay factors	FC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
خرابی کارخانه Factory failure	FCO	0	0	0	0.316	0	0	0	0	0.2	0.072	0.1	0.091	0.063	0.079	0.063	0.079	0.079	0.079	0.063	0.063	0.063
	FF	0	0	0	0.061	0	0	0	0.019	0	0.0168	0	0.0146	0.0122	0.0153	0.0122	0.0153	0.0153	0.0153	0.0122	0.0122	0.0122
	FM	0	0	0	0.158	0	0	0	0.052	0	0	0	0.043	0.0316	0.0395	0.031	0.0395	0.0395	0.0395	0.0316	0.0316	0.0316
	FPH	0	0	0	0.264	0	0	0	0.073	0	0.068	0	0.05	0.0528	0.066	0.0528	0.066	0.066	0.066	0.0528	0.0528	0.0528
	FSF	0	0	0	0.199	0	0	0	0.054	0	0.042	0.1	0	0.039	0.049	0.039	0.049	0.049	0.049	0.039	0.039	0.039
خرابی تراکتورهای در صف Tractor failure in queuing system	UM	0	0	0	0	0.33	0	0	0.066	0.066	0.066	0.066	0.06	0	0	0.133	0.082	0.082	0.082	0.066	0.066	0.066
	USO	0	0	0	0	0.379	0	0	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0	0	0.066	0.094	0.094	0.094	0.075	0.0758	0.075
	WT	0	0	0	0	0.289	0	0	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.2	0.25	0	0.072	0.072	0.072	0.057	0.057	0.057
تصادف و واژگونی تراکتورها Accident and overturn of tractors	HO	0	0	0	0	0	0.539	0.625	0.107	0.107	0.107	0.107	0.105	0.107	0	0.107	0	0	0	0.107	0.107	0.107
	MT	0	0	0	0	0	0.163	0.136	0.032	0.032	0.032	0.032	0.027	0.032	0	0.032	0	0	0	0.032	0.032	0.032
	UCO	0	0	0	0	0	0.296	0.238	0.059	0.059	0.059	0.059	0.066	0.059	0	0.059	0	0	0	0.059	0.059	0.059
تغییر شیفت Shift change	LS	0	0	0	0	0	0	0	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.156	0.125	0.156	0.156	0.156	0	0.066	0.16
	UOT	0	0	0	0	0	0	0	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.034	0.027	0.034	0.034	0.034	0.066	0	0.04
	UTT	0	0	0	0	0	0	0	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.0596	0.047	0.059	0.059	0.059	0.133	0.133	0

جدول ٥- ماتریس محدود شده

Table 5- Limit matrix

برچسب خوشه و گره‌ها		پارامتر Parameter			عوامل تأخیر Delay factors				خرابی کارخانه Factory failure					خرابی تراکتورهای در صف Tractor failure in queuing system			تصادف و واژگونی تراکتورها Accident and overturn of tractors			تغییر شیفت Shift change		
		D	S	O	FC	FT	RT	SC	FCO	FF	FM	FPH	FSF	UM	USO	WT	HO	MT	UCO	LS	UOT	UTT
پارامتر Parameter	D	0	0	0	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077
	S	0	0	0	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
	O	0	0	0	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088
عوامل تأخیر Delay factors	FC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
خرابی کارخانه Factory failure	FCO	0	0	0	0.0687	0.0687	0.0687	0.0687	0.0687	0.0687	0.0687	0.0687	0.0687	0.0687	0.0687	0.0687	0.0687	0.0687	0.0687	0.0687	0.0687	0.0687
	FF	0	0	0	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013
	FM	0	0	0	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
	FPH	0	0	0	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054
	FSF	0	0	0	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045
خرابی تراکتورهای در صف Tractor failure in queuing system	UM	0	0	0	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065
	USO	0	0	0	0.0657	0.0657	0.0657	0.0657	0.0657	0.0657	0.0657	0.0657	0.0657	0.0657	0.0657	0.0657	0.0657	0.0657	0.0657	0.0657	0.0657	0.0657
	WT	0	0	0	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082
تصادف و واژگونی تراکتورها Accident and overturn of tractors	HO	0	0	0	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078
	MT	0	0	0	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023
	UCO	0	0	0	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043
تغییر شیفت Shift change	LS	0	0	0	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115
	UOT	0	0	0	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034
	UTT	0	0	0	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063

جدول ٦- ماتریس موزون خوشه‌ها

Table 6- Clusters weighted matrix

	گزینه‌ها Options	تأخیر Delay	خرابی کارخانه Factory failure	خرابی تراکتورهای در صف Tractor failure in queuing system	تصادف و واژگونی تراکتورها Accident and overturn of tractors	تغییر شیفت Shift change
Options گزینه‌ها	0	0	0.2	0.2	0.25	0.2
Delay تأخیر	0	0	0	0	0	0
Factory failure خرابی کارخانه	0	0.724	0.2	0.2	0.25	0.2
خرابی تراکتورهای در صف Tractor failure in queuing system	0	0.135	0.2	0.2	0.25	0.2
تصادف و واژگونی تراکتورها Accident and overturn of tractors	0	0.054	0.2	0.2	0	0.2
Shift change تغییر شیفت	0	0.085	0.2	0.2	0.25	0.2

جدول ۷- وزن پارامترها

Table 7- The weight of parameters

پارامتر Parameter	وزن نرمالیزه نشده Not normalized weight	وزن اصلاحی Corrected weight
Detection شناسایی	0.0775	1.088
Severity شدت	0.0475	0.667
Occurrence وقوع	0.0885	1.243

جدول ۸- مقادیر RPN و اولویت عامل‌های بالقوه تأخیر در دو روش FMEA و FMEA-ANP

Table 8- The RPN values and priority of potential delay factors for FMEA and FMEA-ANP methods

الگوی بالقوه تأخیر Potential delay pattern	علل بالقوه تأخیر Potential delay causes	RPN FMEA-ANP	RPN FMEA	اولویت FMEA-ANP	اولویت FMEA
خرابی کارخانه Factory failure	خرابی نقاله‌ها Conveyors failure	629.428	630	2	2
	خرابی آسیاب Mill failure	887.59	900	1	1
	خرابی کوره بخار Steam furnace failure	177.8	192	10	9
	خرابی سالن تولید Production hall failure	440.928	448	3	3
	عدم نگهداری مناسب Inappropriate maintenance	323.14	360	5	5
خرابی تراکتورهای در صف Tractor failure in queuing system	نگهداری نامناسب Inappropriate maintenance	297.057	360	6	5
	عدم مهارت راننده Lack of driver skills	47.281	81	13	12
	فرسوده بودن تراکتور Worn tractor	224.86	270	7	6
تصادف و واژگونی تراکتورها Accident and overturn of tractors	عدم دقت راننده Carelessness of the driver	192.053	240	9	7
	عجله راننده Driver rush	195.61	210	8	8
	زیاد بودن تراکتورهای در صف Lots of tractors in the queue	373.49	392	4	4
تغییر شیفت Shift change	عدم حضور به موقع پرسنل Lack of on time presence personnel	125.504	180	11	10
	عدم وجود برنامه‌ریزی دقیق Lack of precise planning	53.024	90	12	11
	هماهنگی کم پرسنل با سرعت کار روزانه Low staff coordination with the speed of daily work	43.709	72	14	13

References

1. Bigdeli, Z., and N. Yousef Aghli. 2005. Investigating the motivations of the goals and database used by the experts of the Sugar Cane Development Company and the related industries of Khuzestan province and investigation of their problems for accessing their required information. Journal of Education 12 (2): 91-112.
2. Bayazit, O. 2006. Use of analytic network process in vendor selection decisions. Benchmarking: An International Journal.
3. Dori, B., H. Moazez, and H. Salami. 2011. Risk Analysis: A Combined Approach Using Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) and Analytical Network Process (ANP). Management Research in Iran 14 (4): 107-136. (In Farsi).
4. Jafari Eskandari, M., and L. Alibeigi. 2016. To Provide Risk Analysis Approach of Knowledge-based Firm Project by means of ANP-RFMEA Technique. Technology Development Journal 48: 29-37.
5. Jafarnejad, A. 2015. Modern operations and production management (Concepts, systems, models and supply chains). University of Tehran press. 4th edition. 726 pp. (In Farsi).
6. Lamsal, K. 2014. Sugarcane harvest logistics. PhD (Doctor of Philosophy) the University of Iowa. http://ir.uiowa.edu/etd/1349.
7. Minaeimoghadam, M., P. Shishebor, E. Soleimannejadian, and A. Askarianzadeh. 2009. Biology of Sugarcane Whitefly, Neomaskellia and ropogonis Corbett (Hom., Aleyrodidae) on Four Sugarcane Cultivars Under Laboratory Conditions. Journal of Plant Protection 32 (1): 49-56. (In Farsi).
8. Monjezi, N., M. J. Sheikhdavoodi, H. Zaki Dizaji, A. Marzban, and M. Shomeili. 2017. Identifying and Prioritizing the Effective Parameters on Lack of Timeliness of Operations of Sugarcane Production using Analytical Hierarchy Process (AHP). Journal of Agricultural Machinery 7 (2): 514-526. (In Farsi).
9. Mottaghi, H. 2016. Production and operations management. Avaye Shervin press. 548 pp. (In Farsi).
10. Namdari, M., Sh. Rafiee, and A. Jafari. 2011. Using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for Performing Good Ploughing with mouldboard. Journal of Agricultural Machinery 1 (1): 17-24. (In Farsi).
11. Saaty, T. L. 1999. Fundamentals of the analytic network process. ISAHP.
12. Slamet, A. S., A. Nakayasu, R. Astuti, and N. M. Rachman. 2017. Risk Assessment of Papaya Supply Chain: An Indonesian Case Study. International Business Management 100 (2): 508-521.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 9, No. 2, Fall - Winter 2019, p. 455-467

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۹، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۸، ص ۴۶۷-۴۵۵

Risk Analysis of Sugarcane Stem Transportation Operation Delays Using the FMEA-ANP Hybrid Approach

F. Afsharnia[1*]- A. Marzban[2]

Received: 15-12-2017
Accepted: 07-04-2018

Introduction

Given the risk management and improving the process, reliability is important in operations and production management, especially agricultural process. Failure modes and effects analysis (FMEA) is regarded as one of the most powerful methods in this area. High applicability and proper analyzability of FMEA have caused to be among the most important techniques of systems for risk analysis and safety improvement. Risk management in all sectors is important, especially in agricultural sector. Sugarcane is one of the industrial crops used as raw material for several major and minor industries. In Iran, this crop is cultivated by sugarcane agro-industry companies. The sugarcane trailers were used to transport harvested sugarcane from farm to mill in these companies. There are many problems to milling it on time. One of the most important risks involved in sugarcane transportation is the delays encountered in this process which can affect the quality and quantity of the product. Delay in milling of the harvested sugarcane is caused by various reasons in agro-industry units including factory downtime, breakdowns of tractors at factory gate, tractor accident in factory yard and staff shift changes creating long queues. So, considering and using risk management techniques and eliminating risk factors can be an effective step to increase the efficiency of this process.

Materials and Methods

This research was carried out on Sugarcane and By-Products Development Company of Khuzestan. At first, the sugarcane transport operations and used equipment were investigated through an interview with experts in the safety and technical sectors and engineers of the Sugarcane and By-Products Development Company of Khuzestan and the study of related books in 2017. After that, the defects and errors of each equipment that caused technical problems and problems in other equipment, as well as the occurrence of injuries and human casualties were identified. Finally, the risks were written for valuation in the FMEA method paper. In this research, risk pricing was based on the Brainstorming method. Risk evaluation is based on the ranking of the effect severity, the risk occurrence probability and the degree of risk detection available in the FMEA method. In this research, analytical network process (ANP), a modern and powerful method in the decision-making field, has been used in combination with FMEA (FMEA-ANP) for defeating the shortcomings. FMEA-ANP considers mutual relationships of hazardous factors, and by offering a certain structure, develops a systematic and flexible view in risk management scope. The suggested method deploys a simple concept of risk priority number and assigns different importance in the form of power for each factor. The resulted RPN will cope better with the system, in which it is applied. This method provides a more accurate analysis of risk and, consequently, more efficient and effective actions, causing attainment and maintenance of more desirable reliability.

Results and Discussion

The results of FMEA-ANP model indicated that the mill equipment in the sugar factory is the most important delayed factor (failure) in the sugarcane transformation. For this reason, the basis failure causes in the sugar factory has been carefully investigated and it has been concluded by experts' opinions that factory mill and the conveyers failures are important causes of the delay in this process, respectively. Based on statistical analysis, 73.15% of the factory downtimes were related to mill and ranked as first compared with the other risk factors. Among the conveyors, the most damage was related to the inlet conveyor to the first mill and 49% of conveyors failures occurred in this conveyor.

1- PhD candidate of Agricultural Machinery Engineering Department, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran
2- Associate Professor of Agricultural Machinery Engineering Department, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran
(*- Corresponding Author Email: phd.afsharnia@asnrukh.ac.ir)

Conclusions

This research validated the application of FMEA-ANP for the rational organization of the harvest-transport complex. According to this investigation, the probable downtimes and delays can be prevented by implementing the optimal preventive repair and maintenance planning in the sugar factory, and in particular on the factory mill equipment. In addition, efforts to adapt the speed of harvesting and the speed of delivery by the factory can be effective in reducing the delivery delay time by the factory.

Keywords: ANP, FMEA, Mill Failures, Risk, Sugarcane, Transportation